

Krzysztof Szalucki

WPLYW AUTOMATYZACJI PROCESÓW ODSALANIA I ODMULANIA KOTŁÓW PAROWYCH NA BEZPIECZEŃSTWO ICH PRACY ORAZ OGRANICZENIE STRUMIENIA WODY ODPADOWEJ

1. Wstęp

Podstawowym celem automatyzacji procesów odsalania i odmulania kotłów parowych jest podniesienie bezpieczeństwa ich eksploatacji. Dodatkowo automatyzacja tych procesów przyczynia się do znacznego ograniczenia strumienia wody odpadowej na skutek dostosowania jego wielkości do rzeczywistych wymagań ruchowych instalacji kotłowej. Połączenie tych dwóch czynników: poprawy bezpieczeństwa eksploatacji oraz korzyści ekonomicznych, ułatwia inwestorowi/użytkownikowi podjęcie decyzji o zastosowaniu rozwiązań opartych na najnowocześniejszych technologicznie i funkcjonalnie konstrukcjach.

Nowo budowane jednostki kotłowe zazwyczaj standardowo wyposażane są w automatyczne systemy odsalania i odmulania. W ostatnich latach obserwuje się również znaczny wzrost zainteresowania wprowadzeniem tego typu systemów ze strony użytkowników starszych kotłów tak wodnorurowych jak i płomienicowo płomieniówkowych. Tu lata eksploatacji już pokazały, że zaniedbania w dziedzinie kontroli jakości wody bardzo często są przyczyną uszkodzeń i przestojów awaryjnych kotłów, a automatyczna kontrola przewodności wraz z automatycznym odsalaniem i odmulaniem w wielu przypadkach pozwolą na bardziej bezpieczną i bezawaryjną eksploatację.

2. Definicje

Woda uzupełniająca lub inaczej dodatkowa (np. wg PN-EN 12952-12: woda dodatkowa) – woda wykorzystywana do wyrównania strat wody i pary w systemie.

Kondensat – skondensowana para, która nie została zmieszana z wodą.

Woda zasilająca – mieszanina powracającego z systemu kondensatu i wody uzupełniającej (dodatkowej) doprowadzana do kotła.

Woda zasilająca zdeminalizowana – woda o zawartości elektrolitów odpowiadających przewodności kwasowej $< 0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ i zawartości krzemionki (SiO_2) $< 0,02 \text{ mg}/\text{l}$.

Woda kotłowa – woda znajdująca się wewnątrz kotła.

Odsoliny – woda kotłowa o stosunkowo dużej zawartości soli, odprowadzana w sposób ciągły z miejsca o najwyższej koncentracji soli w objętości wodnej parownika kotła parowego (najczęściej tuż poniżej najniższego poziomu wody w kotle).

Odmuliny – woda kotłowa o znacznej zawartości szlamów, odprowadzana z najniższego punktu (najniższych punktów) objętości wodnej parownika kotła.

Przewodność właściwa – przewodność wody mierzona bezpośrednio.

Przewodność kwasowa – przewodność wody mierzona przy napływie ciągłym za silnie kwasowym wymiennikiem kationitowym.

3. Zapobieganie nadmiernej koncentracji soli w kotłach parowych

Jeżeli doprowadzamy do kotła parowego wodę zasilającą zawierającą nawet tylko szczątkowe ilości soli w niej rozpuszczonych, to ze względu na charakterystyczną cechę prawie całkowitego braku rozpuszczalności soli w parze produkowanej przez kocioł, doprowadzamy do stopniowego wzrostu koncentracji soli w wodzie kotłowej. Niekontrolowany wzrost koncentracji soli w wodzie kotłowej może być przyczyną powstawania kamienia kotłowego na omywanych wodą powierzchniach parownika. Utworzenie się warstwy kamienia kotłowego na powierzchniach ogrzewalnych parownika, szczególnie w przypadku kotłów charakteryzujących się dużym i bardzo dużym obciążeniem cieplnym powierzchni ogrzewalnej, prowadzi do znacznego pogorszenia się warunków przenoszenia ciepła, co jest przyczyną nadmiernego wzrostu temperatury ścianek powierzchni wymiany ciepła i skutkuje poważnymi uszkodzeniami ciśnieniowych powierzchni ogrzewalnych. Kolejnym problemem związanym ze zbyt wysoką koncentracją soli w wodzie kotłowej jest skłonność do jej nadmiernego pienienia się w walczaku kotła parowego. Para wyływająca z walczaka porywa pianę o znacznej koncentracji soli i przenosi ją do pęczków przegrzewaczy lub do instalacji parowej. W przegrzewaczach piana zostaje osuszona, sole będące składnikiem piany częściowo się w nich osadzają pogarszając warunki przenoszenia ciepła, a częściowo są porywane z parą i odkładają się w instalacji lub na łopatkach wirników turbiny powodując zaburzenia w jej pracy. Piana porwana przez parę do instalacji parowej przyczynia się do powstawania w niej osadów, a za tym do pogorszenia procesu wymiany ciepła.

Utrzymywanie optymalnej zawartości soli w wodzie kotłowej realizowane jest (przy zapewnieniu właściwego przygotowania wody zasilającej) przez zastosowanie odpowiednich systemów pomiarowych, najczęściej systemu pomiaru przewodności wody kotłowej oraz upuszczanie określonych ilości wody kotłowej o podwyższonej zawartości soli z pewnych charakterystycznych punktów kotła i wprowadzanie w jej miejsce wody zasilającej o niższej koncentracji rozpuszczonych soli.

System odpowiedzialny za ciągłe usuwanie określonego strumienia wody kotłowej tuż spod lustra wody w walczaku, tak aby utrzymywany był stały poziom przewodności, nazywamy systemem odsalania.

Część soli zawartych w wodzie kotłowej jednak krystalizuje. Dla zabezpieczenia powierzchni wymiany ciepła w kotle przed gromadzeniem się osadów kamienia kotłowego dodaje się odpowiednie substancje korekty fizykochemicznej wody (np. fosforany, polimery itp.), które mają zapewniać krystalizację z daleka od powierzchni wymiany ciepła lub dodatkowo rozbijają tworzącą się warstwę kamienia kotłowego. Krystalizujące sole w formie szlamu opadają do dolnych komór parownika lub na dno części wodnej kotła płomienicowo-płomieniówkowego. Dla bezpiecznej pracy kotła konieczne jest okresowe usuwanie gromadzących się tam szlamów wraz z możliwie najmniejszą ilością wody kotłowej. System odpowiedzialny za ten proces nazywamy systemem odmulania. Jest on prowadzony okresowo z najniższych punktów części wodnej parownika kotła.

System pomiaru przewodności wody kotłowej oraz systemy odsalania i odmulania muszą być odpowiednio skonfigurowane, przede wszystkim z punktu widzenia wymagań bezpieczeństwa pracy kotła parowego oraz jego potrzeb ruchowych, ale także warunków ekonomicznych, tak aby ilość traconej wody kotłowej była możliwie najmniejsza.

4. Wyznaczenie strumienia odsolin i odmulin koniecznego dla zapewnienia wymaganej przewodności wody kotłowej

Zwyczajowo przyjmuje się, że łączny strumień odsolin i odmulin odprowadzanych z kotła parowego nie powinien przekraczać 3 do 5% wydajności kotła. Jest to jednak wielkość

uzasadniona jedynie względami ekonomicznymi, a nie faktycznymi wymaganiami ruchowymi kotła. Należy pamiętać, iż w przypadku przeprowadzania obliczeń strumienia odsolin i odmulin możemy uzyskać wartości wyższe od zalecanych. Wówczas jednak koszt wody traconej jest zazwyczaj tak wysoki, że konieczne jest obniżenie poziomu zasolenia wody zasilającej. Zasolenie to można obniżyć dwiema metodami: zwiększając zwrot niezanieczyszczonego kondensatu z instalacji lub zmieniając system uzdatniania wody uzupełniającej na zapewniający niższe wartości zasolenia wody za stacją uzdatniania.

Wartość strumienia wody kotłowej (odsolin i odmulin), który musimy odprowadzić z kotła parowego dla zapewnienia wymaganej koncentracji soli, wyznaczamy wykorzystując wzór (1):

$$A = \frac{S \cdot m}{K - S} \quad [\text{kg/h}] \quad (1)$$

gdzie:

A łączny strumień odsolin i odmulin [kg/h], który musimy odprowadzić z kotła parowego

S zawartość soli w wodzie zasilającej [ppm] lub przewodność elektryczna wody zasilającej [$\mu\text{S/cm}$]

K dopuszczalna zawartość soli w wodzie kotłowej [ppm] lub dopuszczalna przewodność wody kotłowej [$\mu\text{S/cm}$] – wielość tę powinien określić producent kotła w zgodzie z wymaganiami właściwych norm

m wydajność kotła parowego [kg/h], dla określenia maksymalnego strumienia odsolin i odmulin należy wstawić wydajność maksymalną trwałą kotła

W oparciu o praktykę eksploatacyjną przyjmuje się następujący podział łącznego strumienia odsolin i odmulin: 90-95% strumienia A odprowadza się w formie odsolin a 5-10% strumienia A w formie odmulin. Taki rozdział zapewnia zarówno bardzo dobrą stabilizację zasolenia wody kotłowej, jak również systematyczne usuwanie szlamów z dolnych komór parownika kotła. Podział ten zalecany jest w przypadku stosowania tzw. zaworów odmulających szybkozamykających, których czas otwarcia ograniczony jest do 3-4 sekund w przynajmniej 1 godzinnym cyklu. W przypadku stosowania typowych zaworów odcinających dla procesu odmulania, ilości usuwanej wody przez system odmulania są znacznie większe i należy odpowiednio do tych wielkości dostosować proces odsalania ciągłego.

Zdarza się, że przy projektowaniu nowej instalacji kotłowej nie ma możliwości przeprowadzenia bezpośredniego pomiaru przewodności wody zasilającej S podczas pracy. W takim przypadku należy przeprowadzić analizę w oparciu o dane producenta stacji uzdatniania wody oraz przewidywaną wielkość zwrotu kondensatu. Szacowanie wartości przewodności kondensatu jest możliwe, a wielkość ta zależy głównie od wartości przewodności wody kotłowej oraz jakości systemów osuszających parę w walczaku kotła.

W przypadku pracującej instalacji kotłowej najkorzystniejsze jest przeprowadzenie bezpośredniej serii pomiarów przewodności wody zasilającej S przy różnych stanach ruchowych instalacji (obciążeniach). Należy pamiętać o wpływie temperatury na przewodność wody. Pomiar przewodności wody zasilającej powinien być przeprowadzony na próbce wody schłodzonej do 25°C lub za pomocą urządzenia zapewniającego kompensację wpływu temperatury na pomiar.

Zalecane jest wyznaczenie przynajmniej trzech wartości strumienia odsolin i odmulin A, tj. dla maksymalnej i minimalnej wydajności kotła parowego oraz wydajności, z którą kocioł będzie pracował najczęściej. Te wartości pozwolą później właściwie dobrać zawór regulacji strumienia odsolin.

5. Zagadnienia odsalania i odmulania według norm europejskich PN-EN 12952 w części dotyczącej parowych kotłów wodnorurowych z naturalną lub wymuszoną cyrkulacją

Zagadnienia dotyczące systemów odsalania i odmulania kotłów parowych wodnorurowych w normie PN-EN 12952 są omówione w części 7 w zakresie wymaganego zastosowania urządzeń wyposażenia kotłów i w części 12 w zakresie wymagań stawianych przewodności wody kotłowej.

5.1 PN-EN 12952-7 w zakresie stosowania systemów kontroli i ograniczenia przewodności wody kotłowej oraz stosowania armatury odsalającej i odmulającej

Wymagania określone w części 7 normy PN-EN12952 precyzują iż, w przypadku kotłów parowych wodnorurowych pracujących **ze stałym nadzorem**, wystarczająca jest okresowa kontrola laboratoryjna próbki wody kotłowej pobieranej z walczaka. Po określeniu wartości przewodności próbki wody konieczne jest odpowiednie dostosowanie nastawy strumienia odsolin i odmulin. Regularne badania i korekta nastaw muszą zagwarantować przewodność wody kotłowej na poziomie zalecanym przez producenta kotła i zgodnym z wymaganiami podanymi w części 12 normy.

W przypadku pracy kotłów parowych wodnorurowych **bez stałego nadzoru** norma wprowadza ogólny wymóg zastosowania takiego wyposażenia dodatkowego kotła wraz z określeniem odpowiednich procedur, aby zapewnione było bezpieczeństwo pracy przynajmniej na takim samym poziomie jak przy pracy ze stałym nadzorem.

Jednym z elementów takiego dodatkowego wyposażenia wymaganego przy ruchu bez stałego nadzoru jest system kontroli przewodności zdefiniowany w punkcie 7.2.9 normy. Układ kontroli przewodności wody kotłowej musi być ciągły oraz w przypadku przekroczenia wartości granicznej podanej przez producenta kotła musi zapewnić wyłączenie i zabezpieczenie doprowadzania ciepła.

Kocioł parowy wodnorurowy musi być wyposażony w urządzenia odwadniające. Urządzeniem takim może być zawór odmulający. Jeżeli na rurociągu odmulającym nie ma dodatkowego zaworu odcinającego, to zawór odmulający szybkozamykający powinien mieć możliwość zablokowania go w położeniu zamkniętym.

5.2 PN-EN 12952-12 w zakresie granicznych wartości przewodności wody kotłowej

Wymagania stawiane wodzie kotłowej pod kątem granicznych wartości przewodności właściwej i kwasowej zostały zebrane w Tablicy 1 opracowanej w oparciu o PN-EN12952-12.

Wymagania stawiane przewodności właściwej i kwasowej dla wody zasilającej nie są określone. Konieczne jest takie zagwarantowanie przewodności wody zasilającej, aby możliwe było dotrzymanie wymagań stawianych wodzie kotłowej.

W punkcie 7 normy dotyczącym analizy zaleca się instalowanie urządzeń do ciągłego monitorowania i kontroli podstawowych parametrów (w tym również przewodności) wody, chociaż wystarczająca jest okresowa regularna kontrola laboratoryjna.

Norma określa również inne parametry jakości wody zasilającej i kotłowej, które muszą być monitorowane okresowo podczas badania pobranej próbki wody kotłowej.

Tablica 1

| Przewodność wody kotłowej dla kotłów parowych z cyrkulacją naturalną i wspomaganą | | | | | |
|--|--|--|---|--------------------------|------|
| Zgodnie z PN-EN 12952-12 | Ciśnienie robocze | Przewodność właściwa w temperaturze 25°C | Przewodność kwasowa w temperaturze 25°C | | |
| | | | bez dawkowania fosforanów | z dawkowaniem fosforanów | |
| | [bar] | [μS/cm] | [μS/cm] | | |
| Woda zasilająca dla kotłów parowych stosujących | wode zasilającą zawierającą rozpuszczone sole o przewodności właściwej | > 30 μS/cm | od 0,5 do 20 | - | |
| | | | 20 | - | |
| | | | 30 | - | |
| | | | 40 | - | |
| | | | 50 | - | |
| | | | 60 | - | |
| | | ≤ 30 μS/cm | do 40 | - | |
| | | | 50 | - | |
| | | | 60 | - | |
| | | | 70 | - | |
| | | | 80 | - | |
| | | | 100 | - | |
| | Woda zasilająca dla kotłów parowych stosujących | Alkalizacja za pomocą stałych środków alkalinizujących | ≤ 100 | < 50 | |
| | | | > 100 | < 30 | < 40 |
| Korekcja za pomocą środków lotnych | | - | < 5 ⁴⁾ | | |

1) w przypadku kotłów z przegrzewaczem pary należy przyjąć jako górną wartość graniczną w wysokości 50% wartości podanych w tabeli

2) dla uzyskania wartości przewodności dla ciśnień pośrednich można z dobrą dokładnością przeprowadzić interpolację,

3) dla uzyskania wartości przewodności dla ciśnień pośrednich można z dobrą dokładnością przeprowadzić interpolację,

4) przewodność kwasowa <3, jeżeli strumień energii > 250kW/m²

6. Zagadnienia odsalania i odmulania według norm europejskich PN-EN 12953 w części dotyczącej parowych kotłów płomienicowo-płomieniówkowych

Zagadnienia dotyczące systemów odsalania i odmulania kotłów parowych płomienicowo-płomieniówkowych w normie PN-EN 12953 są omówione w części 6 w zakresie wymaganego zastosowania urządzeń wyposażenia kotłów i w części 10 w zakresie wymagań stawianych przewodności wody kotłowej.

6.1 PN-EN 12953-6 w zakresie stosowania systemów kontroli i ograniczenia przewodności wody kotłowej oraz stosowania armatury odsalającej i odmulającej

W przypadku pracy kotłów parowych płomienicowo-płomieniówkowych norma PN-EN 12953-6 w pkt. 4.8.1 wprowadza ogólny wymóg zastosowania takiego systemu ciągłej kontroli przewodności wody kotłowej, który zapewni nieprzekraczanie wartości granicznych przewodności podanych przez producenta kotła i normę PN-EN 12953-10. Wymagania stawiane wodzie kotłowej pod kątem granicznych wartości przewodności właściwej zostały zebrane w Tabelicy 2 opracowanej w oparciu o PN-EN12953-10.

Tabelica 2

| Przewodność wody kotłowej dla kotłów parowych płomienicowo-płomieniówkowych | | |
|--|-------------------|--|
| Zgodnie z PN-EN 12953-10 | Ciśnienie robocze | Przewodność właściwa w temperaturze 25°C |
| | [bar] | [μS/cm] |
| Przewodność wody zasilającej dla kotłów parowych | od 0,5 do 20 | 6000 ¹⁾ |
| | 20 | 6000 ^{1,2)} |
| | 30 | 4300 ^{1,2)} |
| | 40 | 3000 ^{1,2)} |
| ≤ 30 μS/cm | od 0,5 | 1500 |

¹⁾ w przypadku kotłów z przegrzewaczem pary należy przyjąć jako górną wartość graniczną w wysokości 50% wartości podanych w tabeli
²⁾ dla uzyskania wartości przewodności dla ciśnień pośrednich można z dobrą dokładnością przeprowadzić interpolację

Układ kontroli przewodności wody kotłowej musi być ciągły oraz w przypadku przekroczenia wartości granicznej podanej przez producenta kotła musi zapewnić wyłączenie i zabezpieczenie doprowadzania ciepła. Ogranicznik przewodności musi spełniać wymagania normy PN-EN 12953-9, a poprawność jego działania musi być potwierdzona właściwymi testami.

Kocioł parowy płomienicowo-płomieniówkowy musi być wyposażony w zawór/zawory spustowe. Zaworem takim może być zawór odmulający. Jeżeli na rurociągu odmulającym nie ma dodatkowego zaworu odcinającego, to zawór odmulający szybkozamykający powinien mieć konstrukcję samo zamykającą i możliwość zablokowania go w położeniu zamkniętym.

Norma określa również inne parametry jakości wody zasilającej i kotłowej, które muszą być monitorowane okresowo podczas badania pobranej próbki wody kotłowej.

7. Automatyzacja procesu ciągłego odsalania kotłów parowych

Przy ruchu instalacji kotłowej wyposażonej w system ogranicznika maksymalnej przewodności wody kotłowej narażamy się (co jest wysoce niepożądane) na odstawienie kotła przy przekroczeniu wartości granicznej przewodności. Może to nastąpić najczęściej na skutek błędnej nastawy zaworu odsalania ręcznego. Dysponując systemem ciągłego pomiaru przewodności można łatwo i stosunkowo niewielkim kosztem w pełni zautomatyzować proces odsalania tak, aby prawdopodobieństwo osiągnięcia wartości granicznej przewodności wody kotłowej podczas poprawnej eksploatacji kotła było bliskie zeru. Dzięki temu wyeliminowane zostają przestoje spowodowane błędami w obsłudze systemu odsalania.

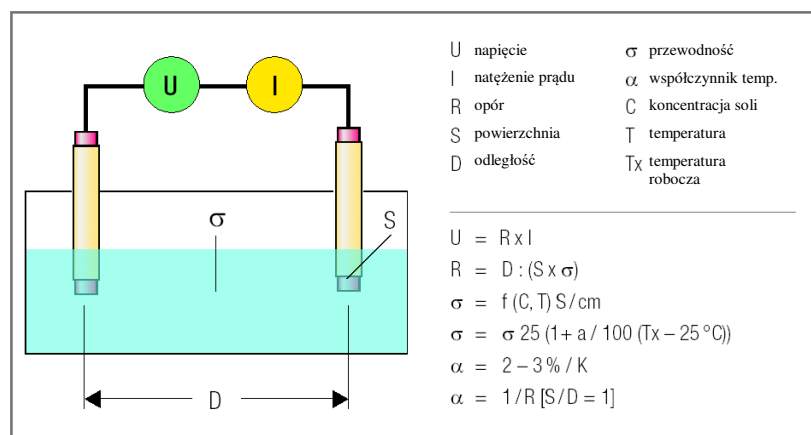
W instalacjach kotłów parowych zastosowanie automatyzacji systemu odsalania wiąże się z kosztami dodatkowymi, ale za wprowadzeniem tego rozwiązania przemawia znaczące podniesienie bezpieczeństwa eksploatacji i obniżenie kosztów ruchowych.

7.1 Historia rozwoju technicznych urządzeń do ciągłego pomiaru przewodności wody kotłowej

Pierwsze urządzenia pomiarowe stosowane do pomiaru przewodności wody kotłowej mierzyły przewodność absolutną – rysunek 1. Ze względu na znaczny wpływ temperatury na mierzoną przewodność (przewodność wzrasta zależnie od czynnika o ok. 2-5 %/K przyrostu temperatury) rezultat pomiarowy nie był jednoznaczny i mógł być niewłaściwie interpretowany. Jeżeli przykładowo przepisy techniczne wymagały, aby przewodność nie przekraczała wartości $10000\mu\text{S/cm}$ w 25°C , urządzenie pomiarowe musiało być nastawione na wartość $50000\mu\text{S/cm}$ lub wyższą, tak aby uwzględniony był wpływ temperatury. Taka sytuacja wielokrotnie prowadziła do błędnych interpretacji.



Rys. 1 Regulator pierwszej generacji LRR11 bez kompensacji temperatury



Rys. 2 Zasada pomiaru przewodności cieczy

W systemie pomiarowym przewodności wody kotłowej tzw. „dwu elektrodowym” pokazanym na rysunku 2 (jedna elektroda to metalowy korpus walczyka, druga to końcówka pomiarowa sondy) wykorzystywany jest pomiar w oparciu o prawo Ohma ($R=U/I$), gdzie mierzona oporność jest funkcją własności cieczy monitorowanej, odległości pomiędzy powierzchniami monitorowanymi i wielkością powierzchni pomiarowej. Wpływ powierzchni pomiarowej na wartość pomiaru jest niemiłe widziany. Z tego też powodu sonda pomiarowa musi być zbudowana w taki sposób, aby charakteryzowała się jasno zdefiniowaną wielkością powierzchni pomiarowej. Dla osiągnięcia tego efektu cała elektroda, za wyjątkiem powierzchni pomiarowej znajdującej się najczęściej na jej końcówce, jest zaizolowana.

Następnym krokiem rozwoju systemów pomiaru przewodności wody kotłowej było wprowadzenie ręcznej kompensacji wpływu temperatury, przy zastosowaniu opisanego wyżej „dwu elektrodowego” systemu pomiarowego. Dzięki temu wskazywana przez urządzenie pomiarowe wartość przewodności była odniesiona do temperatury 25°C (zgodnie z odpowiednimi przepisami). Stosując te urządzenia operator kotła mógł nastawiać urządzenia oraz odczytywać ich wskazania w wartościach przewodności odniesionych do 25°C . Oczywiście warunkiem poprawności procedury kompensacji była w sposób właściwy przeprowadzona kalibracja urządzenia pomiarowego, realizowana w oparciu o porównanie wartości mierzonej przez urządzenie pomiarowe z wartością przewodności próbki wody zbadanej laboratoryjnie. Rozwiązanie to - rysunek 3 - zostało zaakceptowane przez rynek, wdrożone i stosowane jest do dzisiaj na wielu instalacjach kotłowych.



Rys. 3 Regulator drugiej generacji LRR1-5 z ręczną kompensacją temperatury



Rys. 4 LRGT16-1 elektroda pomiaru przewodności z automatyczną kompensacją temperatury – system dwuelektrodowy

Niewątpliwie wadą opisanego systemu z ręczną kompensacją temperatury jest błąd pomiaru przy zmieniającej się temperaturze na skutek wahań ciśnienia w walczaku kotła lub przy pracy kotła z okresowo zmiennym ciśnieniem roboczym. Również brak zdefiniowanej wielkości i odległości od elektrody odniesienia (korpus walczaka) ma wpływ na dokładność pomiaru przewodności. Dla wyeliminowania tych wad została wprowadzona nowa konstrukcja elektrody pomiaru przewodności – rysunek 4. Elektroda pomiarowa została uzupełniona o zewnętrzną rurę osłonową, stanowiącą w pełni zdefiniowaną co do wielkości i odległości elektrodę odniesienia, poprawia to w istotny sposób jakość pomiaru. Dodatkowo elektroda zostaje wyposażona w czujnik temperatury Pt1000. Dzięki ciągłej kontroli temperatury wody kotłowej w czasie pomiaru, możliwy stał się proces ciągłego automatycznego kompensowania wpływu temperatury na przewodność. Elektroda posiada zabudowaną na głowicy skrzynkę z elektroniką zapewniającą przetworzenie sygnałów pomiarowych w sygnał prądowy proporcjonalny do przewodności odniesionej do 25°C.

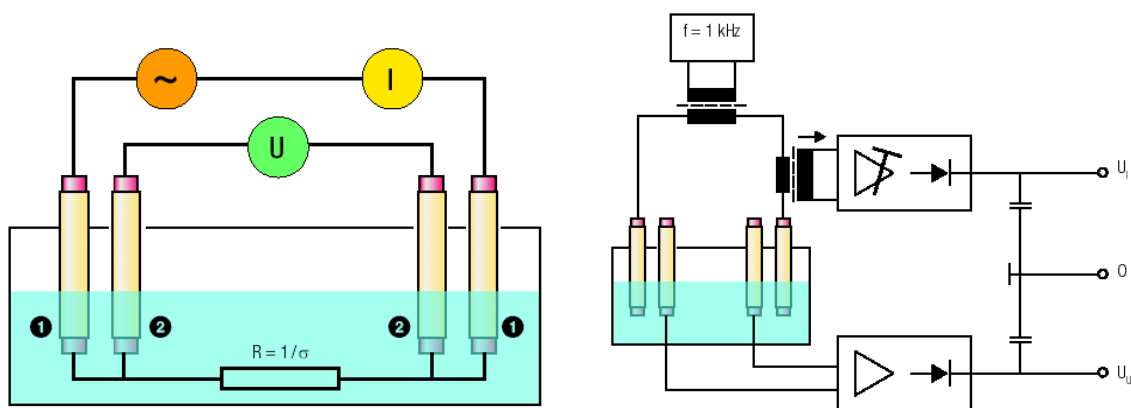
W przypadku stosowania omówionego wyżej systemu dwuelektrodowego charakterystyczna jest pogarszająca się dokładność pomiarowa (z czasem eksploatacji wzrastające zaniżenie pomiaru wartości przewodności). Związane jest to ze stosowanymi metodami uzdatniania wody uzupełniającej lub charakterem obsługi instalacji, które wynikowo prowadzą do powstawania powłok lub osadów zanieczyszczeń na powierzchniach pomiarowych – rysunek 5.



Rys 5. Wpływ powłok i osadów na powierzchniach pomiarowych elektrody pomiaru przewodności na zaniżanie wartości pomiaru

Osady są przyczyną wzrostu oporności, a za tym zaniżaniu wartości mierzonej przewodności.

Dla zoptymalizowania pomiarów, szczególnie w zakresie instalacji kotłów przemysłowych pracujących przy wartościach przewodności wody kotłowej powyżej $500 \mu\text{S}/\text{cm}$, opracowany i wdrożony został nowy system pomiarowy – czteroelektrodowa metoda pomiaru przewodności. Nowy czujnik pomiarowy składa się z czterech elektrod (dwie „prądowe” i dwie „napięciowe”) – rysunek 6. Elektrody „prądowe” (1) są zasilane prądem o stałej częstotliwości dla danego czynnika mierzonego i wykorzystywane dla uzyskania pomiaru prądowego U_I . Pomiedzy tymi elektrodami pojawia się różnica potencjału, która wykorzystywana jest przez elektrody „napięciowe” (2) dla uzyskania pomiaru napięciowego U_U . Współzależność pomiędzy pomiarem prądowym U_I i pomiarem napięciowym U_U jest proporcjonalna do przewodności mierzonego czynnika. Taki system pomiarowy zapewnia kompensację wpływu oporności liniowej, efektu polaryzacji cieczy i zanieczyszczeń na jakość pomiaru przewodności. Dla zapewnienia automatycznej kompensacji wpływu temperatury na przewodność, elektroda pomiarowa wyposażona jest również w system pomiaru temperatury czynnika, a poprzez zastosowanie współczynnika kompensacji i układu przetwornika elektronicznego wynikowo uzyskiwany jest sygnał prądowy 4...20mA proporcjonalny do wartości przewodności odniesionej do 25C.



Rys 6. Zasada działania systemu czteroelektrodowego pomiaru przewodności wody



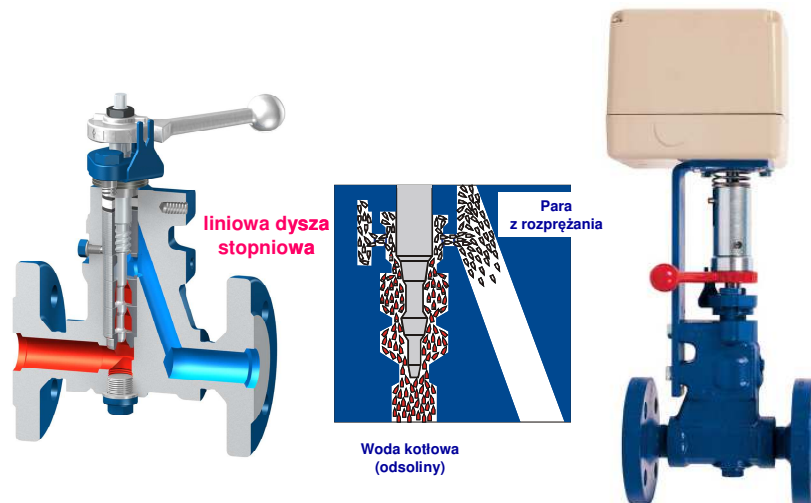
Rys 7. LRGT16-2 elektroda pomiaru przewodności z automatyczną kompensacją temperatury – system czteroelektrodowy

Nie należy zapominać, że wzrastający stopień automatyzacji systemów kotłowych powodował wzrost wymagań w zakresie precyzji monitorowania wartości mierzonych przewodności, ale przyczyniał się również do zaostrzania wymagań przepisów i norm w zakresie dopuszczalnych wartości przewodności wody kotłowej.

7.2 Zawory odsalające – konstrukcja dostosowana do ciężkich warunków roboczych

Praca zaworu odsalającego przebiega w bardzo trudnych warunkach roboczych:

- duża lub bardzo duża różnica ciśnień przed i za zaworem,
- pobierana z walczaka woda wrząca o wysokim ciśnieniu, powoduje konieczność pracy zaworu z bardzo silnym odparowaniem wewnętrznym (flashing),
- wysoka koncentracja soli w wodzie przepływającej przez zawór może przyczyniać się do osadzania kamienia kotłowego wewnątrz zaworu.



Rys 8. Zawór odsalający dla kotłów parowych z liniową dyszą stopniową typ BA/BAE 46/47

Dla zapewnienia wysokiej niezawodności pracy i żywotności zaworu odsalającego stosuje się konstrukcje zapewniające stopniowe rozprężanie czynnika przepływającego przez zawór. Dla ciśnień roboczych do ok. 100 bar stosowane są najczęściej zawory z liniową dyszą stopniową pokazane na rysunku 8, dla ciśnień wyższych korzystniejsze jest zastosowanie zaworów z promieniowymi dyszami stopniowymi często wielokrotnymi. Stopniowanie rozprężania odsolin poprawia jakość regulacji zaworu oraz „wycisza” zawór, ale przede wszystkim przyczynia się do ograniczenia oddziaływania erozyjnego rozprężanego czynnika, szczególnie na powierzchnie uszczelniające zamknięcia grzyb/siedzisko, co zapewnia szczelne zamknięcie w długim okresie eksploatacji zaworu. Zawory odsalające wyposażane są najczęściej w jeden z dwóch wariantów napędu: dźwignia ręcznej nastawy ilości odprowadzanych odsolin lub siłownik elektryczny w przypadku automatyzacji procesu odsalania (siłowniki pneumatyczne stosowane są sporadycznie na specyficznych jednostkach kotłowych).

7.3 Odsalanie z nastawą ręczną w oparciu o okresowy, laboratoryjny pomiar przewodności wody kotłowej

W praktyce, ze względów bezpieczeństwa zawór odsalania obsługiwany ręcznie powinien być nastawiany przy uwzględnieniu maksymalnego (a nie przeciętnego) natężenia poboru pary z kotła parowego. Przez długie okresy pracy kotła parowego zapotrzebowanie pary może być stosunkowo niewielkie i w tych okresach nastawa ilości odprowadzanych odsolin dokonana przy założeniu maksymalnego poboru pary, jest oczywiście o wiele za duża. Przy niskim natężeniu poboru pary z kotła nastawa zaworu odsalającego powinna być odpowiednio zmniejszona. Jest to jednak bardzo trudne do zrealizowania na drodze ręcznego przestawiania zaworu przez prowadzącego ruch kotła w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych. Należy pamiętać, że częstotliwość kontrolowania wody kotłowej musi być na takim poziomie, aby istniała pewność, że nie została przekroczona wartość dopuszczalnej całkowitej zawartości soli.

Tak więc w przypadku odsalania z nastawą ręczną w oparciu o okresowy, laboratoryjny pomiar przewodności wody kotłowej, bezpieczeństwo pracy instalacji kotłowej, wymaga zastosowania nastaw przepustowości zaworu odsalającego na o wiele wyższym poziomie niż by to wynikało z rzeczywistych potrzeb. Prowadzi to niestety do nadmiernych i niepotrzebnych strat ciepła oraz wzrostu kosztów produkcji pary.

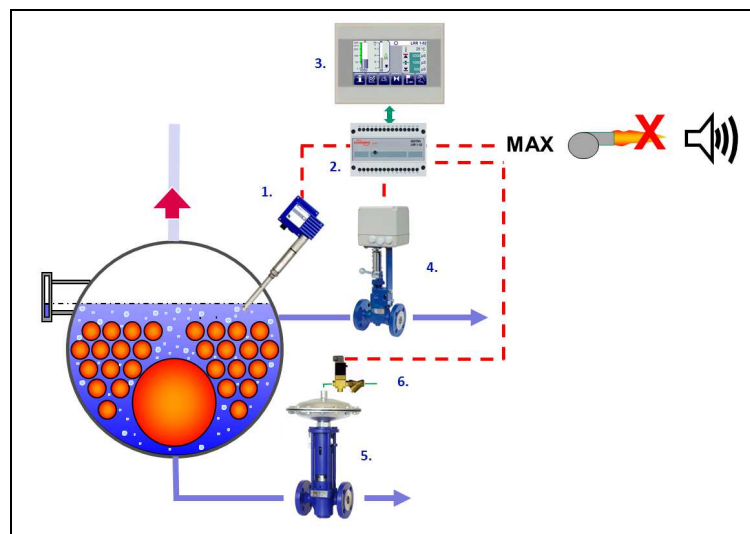
7.4 Odsalanie z regulacją automatyczną w oparciu o pomiar ciągły przewodności wody kotłowej

Wynik pomiaru przewodności wody kotłowej (możliwie jak najbardziej dokładny) jest wykorzystywany dla prowadzenia automatycznej regulacji procesu odsalania ciągłego. Wykorzystując pomiar przewodności wody kotłowej uwzględnia się rzeczywiste zmiany zasolenia zachodzące na skutek wahań poboru pary. Dzięki temu wykluczone jest ryzyko (występujące przy złej nastawie ręcznie obsługiwanego zaworu odsalania ciągłego) wystąpienia nadmiernej koncentracji soli w wodzie kotłowej. Poziom zawartości soli przy automatycznej kontroli przewodności wody kotłowej i zastosowaniu systemu automatycznego odsalania może zbliżyć się do poziomu maksymalnego dopuszczalnego przez producenta kotła. System kontroli automatycznej zapewni, że maksymalna dopuszczalna wartość przy poprawnym ruchu nie zostanie przekroczona, a w przypadku awarii odsalania nastąpi zatrzymanie pracy instalacji kotłowej przez ogranicznik parametryczny po przekroczeniu dopuszczalnej przewodności wody kotłowej.

System regulowanego automatycznie odsalania ciągłego – rysunek 9 - składa się z:

- zaworu odsalania ciągłego z siłownikiem elektrycznym (4),
- elektrody pomiaru przewodności (1),
- elektronicznego regulatora odsalania ciągłego z wbudowaną funkcją ogranicznika parametrycznego przewodności (2) oraz panelu wizualizacji i nastaw (3).

Ze względu na jakość pomiaru preferowany jest montaż elektrody pomiaru przewodności wewnątrz kotła, gdy jest to niemożliwe dopuszczalne jest zastosowanie zewnętrznego naczynia pomiarowego. Jeżeli mierzona wartość przewodności przekracza wartość maksymalną nastawioną na regulatorze odsalania, zawór odsalający za pomocą siłownika jest przestawiany w kierunku otwarcia i dużych przepływów odsolin. Kiedy przewodność wraca do wartości zadanej zawór jest przestawiany w kierunku pozycji mniejszych przepływów zapewniając utrzymywanie ilości odprowadzanych odsolin na bezpiecznym i optymalnym ekonomicznie poziomie.



Rys 9. Elementy systemu automatycznego odsalania i odmulania kotła parowego

System automatycznego odsalania powinien zapewniać zamknięcie zaworu odsalającego w przypadku każdego odstawienia kotła, czy to wynikającego z eksploatacji, czy też odstawienia do gorącej rezerwy, a także odstawienia awaryjnego. W przeciwnym przypadku może dochodzić do niepotrzebnych strat wody.

Należy pamiętać, że zastosowanie systemu automatycznej kontroli przewodności i automatycznego odsalania kotła parowego nie zwalnia użytkownika instalacji kotłowej od przeprowadzania obowiązkowej okresowej kontroli laboratoryjnej pobranej próbki wody kotłowej również pod kątem jej przewodności. W przypadku rozbieżności w pomiarach konieczne jest przeprowadzenie analizy poprawności pracy systemu pomiaru przewodności.

7.5 Podniesienie bezpieczeństwa pracy kotła parowego w wyniku automatyzacji procesu odsalania

Bezpieczeństwo pracy instalacji kotłowej zawsze ma znaczenie priorytetowe. Automatyzacja procesu odsalania zapewni podniesienie tego bezpieczeństwa na wyższy stopień pewności i niezawodności, przede wszystkim dzięki wyeliminowaniu błędów obsługi, a przede wszystkim na skutek prowadzenia ciągłej kontroli wartości mierzonej przewodności wody kotłowej. Ewentualne przekroczenie wartości granicznej spowoduje zatrzymanie pracy kotła, aż do momentu usunięcia usterki powodującej nadmierny wzrost przewodności.

Z całą pewnością można stwierdzić, iż po wprowadzeniu automatyzacji procesu odsalania w sposób znaczący ograniczone zostaną zagrożenia związane z:

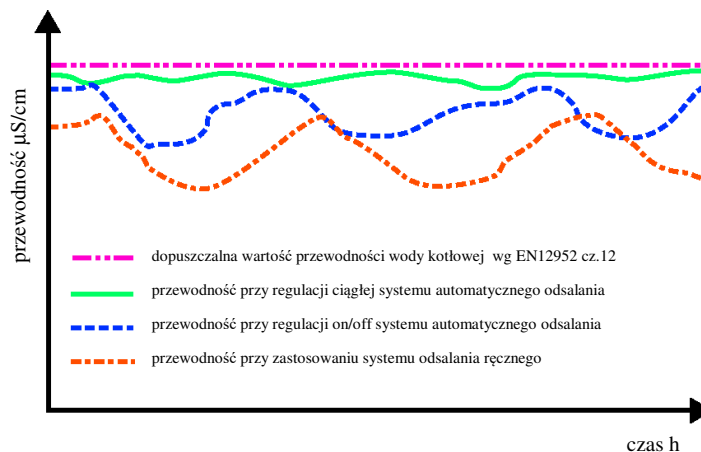
1. odkładaniem się kamienia kotłowego na powierzchniach ogrzewalnych parownika kotła,
2. nadmiernym pienieniem się wody w walczaku oraz porywaniem piany do przegrzewaczy pary lub instalacji pary,

w obu powyższych przypadkach zapobiegamy poważnym i niebezpiecznym awariom części ciśnieniowych kotła lub innych urządzeń wykorzystujących produkowaną parę.

7.6 Oszczędności uzyskiwane w wyniku automatyzacji procesu odsalania

Oszczędności uzyskane w wyniku zastosowania automatycznie regulowanego procesu odsalania ciągłego polegają głównie na zmniejszeniu strumienia odprowadzanych odsolin, uzyskiwanemu na skutek:

- znacznego zbliżenia się z nastawą przewodności do wartości granicznej podanej przez producenta kotła lub określonej przez normy – rysunek 10,
- dostosowania ilości odprowadzanych odsolin do rzeczywistej koncentracji soli w wodzie kotłowej czyli do rzeczywistej chwilowej wydajności kotła parowego.



Rys 10. Zbliżenie przewodności wody kotłowej do wartości granicznej powoduje ograniczenie strumienia odsolin

Poprzez redukcję strumienia odsolin uzyskiwane są następujące oszczędności:

- zmniejszenie zużycia wody uzupełniającej i w konsekwencji zmniejszenie zużycia wody przez zakład oraz obniżenie kosztów środków chemicznego uzdatniania wody,
- zmniejszenie zużycia paliwa ze względu na mniejszą ilość wody zasilającej wymagającą podgrzania do temperatury wrzenia w kotle,
- zmniejszenie zużycia wody chłodzącej odsoliny do temperatury spustu określonej w odpowiednich przepisach.

Porównania oszczędności uzyskanych przy zastosowaniu automatyzacji systemu odsalania w miejsce istniejącego systemu ręcznego możemy dokonać wyznaczając zmniejszenie strumienia odsolin odprowadzanych z kotła. W obliczeniach wykorzystujemy wiedzę na temat ograniczenia wahań wartości przewodności wody kotłowej przy zastosowaniu systemu automatycznego. Przeciętnie dla kotłów pracujących przy ciśnieniu do 40 bar z wodą zasilającą $>30 \mu\text{S/cm}$ wahania te zmniejszają się w stosunku do wahań przewodności przy odsalaniu z nastawą ręczną o 500 do 1000 $\mu\text{S/cm}$ (przy wyższych ciśnieniach wartości te są niższe) zależnie od systemu pomiaru przewodności i sposobu regulacji zaworu odsalającego. Przyjęcie tych wartości umożliwia wyznaczenie strumieni odsolin wymaganych dla zapewnienia różnych wartości przewodności wody kotłowej. Uwzględniając wydajność kotła, koszt paliwa, sprawność kotła, koszt uzyskania i uzdatnienia wody możemy policzyć jakie oszczędności uzyskamy modernizując system odsalania kotła.

Przykład dla założeń:

kocioł OR16, wydajność 16t/h, ciśnienie 40bar(g), sprawność 80%, roczny czas pracy 6000h (dla uproszczenia przyjęto, że przez 6000h/a kocioł pracuje z wydajnością 16t/h), wartość opałowa paliwa 23MJ/kg, cena paliwa 450,--PLN/tonę, koszt pozyskania i uzdatnienia wody 10,--PLN/m³, przewodność wody zasilającej 100 $\mu\text{S/cm}$, przewodność wody kotłowej przy odsalaniu ręcznym 1500 $\mu\text{S/cm}$, przy odsalaniu automatycznym 2000 $\mu\text{S/cm}$

wyznaczone oszczędności w strumieniu odsolin wyniosą: ok. 300 kg/h

co odpowiada rocznym oszczędnościom w paliwie i wodzie w wysokości: ok. 64.500,--PLN/a

(dla zainteresowanych obliczenia dla konkretnych przykładów można przeprowadzić w oparciu o arkusz kalkulacyjny Excel zamieszczony na stronie internetowej <http://www.szalucki.pl>)

Warto dodać, że w większości przypadków prosta rata zwrotu nakładów inwestycyjnych na modernizację procesu odsalania kotła jest mniejsza od jedności, czyli czas zwrotu poniesionych wydatków jest mniejszy od roku i wynosi zazwyczaj kilka miesięcy.

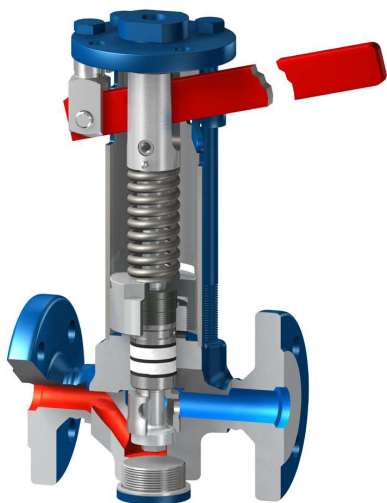
8. Automatyzacja procesu okresowego odmulania kotłów parowych

Proces odmulania kotłów parowych prowadzony jest za pomocą zaworów odmulających, odprowadzających szlam i muły nagromadzone na dnie płaszczka kotła płomienicowo-płomieniówkowego lub w dolnych komorach parownika kotła wodnorurkowego. Automatyzacja tego procesu oparta jest na zastosowaniu sterownika czasowego, na którym nastawiany jest czas otwarcia zaworu odmulającego (zazwyczaj 3-5 sekund) i czas interwału (zazwyczaj 1 do 8 godzin) pomiędzy kolejnymi otwarciami. Z punktu widzenia poprawnego ruchu kotła parowego szczególnie wodnorurkowego ważne jest, aby nie następowało równoczesne otwarcie zaworów odmulających wszystkich komór dolnych parownika, co mogłoby powodować chwilowe zaburzenia w cyrkulacji. Z tego względu sterownik czasowy musi zapewnić opóźnienia w procesie otwarć kolejnych zaworów odmulających. Czasami ze względów bezpieczeństwa stosuje się na zaworach odmulających dodatkowe wyłączniki krańcowe dla położenia zawór zamknięty, tak aby w przypadku awaryjnego stanu niedomknięcia jednego z zaworów załączyła się sygnalizacja alarmowa i nie dochodziło do otwierania się pozostałych zaworów.

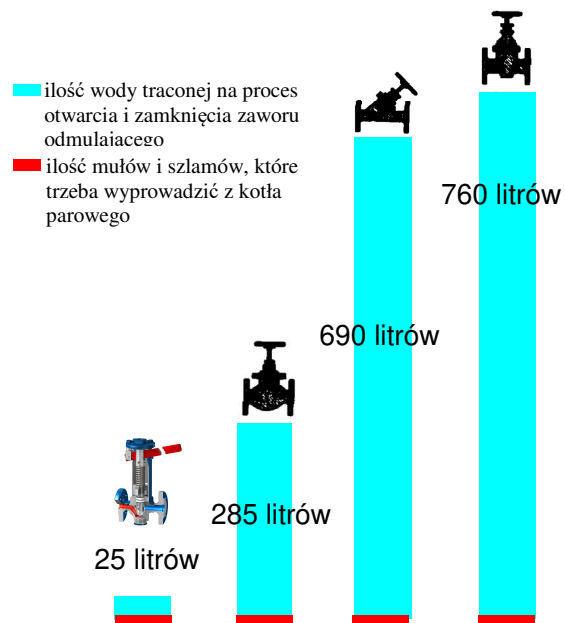
8.1 Szybkodziałające zawory odmulające – specjalistyczna konstrukcja zapewniająca optymalizację procesu odmulania

Doświadczenia eksploatacyjne pokazały, że najefektywniejsze zerwanie oraz usunięcie szlamu i mułu nagromadzonego w dolnej części parownika uzyskiwane jest przy zastosowaniu szybkodziałających zaworów odmulających, które zapewniają gwałtowny i krótkotrwały przebieg procesu odmulania. Szybkie otwarcie i zamknięcie zaworu gwarantuje również pracę bez niepotrzebnych strat wody kotłowej.

Konstrukcja zaworów odmulających – rysunek 11 – powinna zapewniać wysoką szczelność zamknięcia grzyb-siedzisko w trudnych warunkach roboczych. Dla zwiększenia siły doszczelniającej stosowane są silne sprężyny automatycznego zamykania oraz wykorzystywany jest efekt dociskania grzyba do siedziska przez wysokie ciśnienie różnicowe (tzw. konstrukcja „przepływ zamyka”). Stosowany w zaworach odmulających system „grzyb – siedzisko - tuleja otworowania”, daje gwarancję prawidłowej pracy i szczelności zamknięcia zaworu pracującego w najcięższych warunkach (ciśnienie/temperatura/zanieczyszczenia), które panują w układzie odmulania kotła.



Rys 11. Zawór odmulający szybkozamykający PA/MPA 46/47 dla kotłów parowych



Rys. 12 Oszczędności uzyskiwane w wyniku zastosowania zaworu odmulającego szybkozamykającego

Stosowane warianty napędów zaworu odmulającego szybkozamykającego:

- ręczny za pomocą dźwigni lub pedału (zamknięcie automatyczne sprężyną),
 - automatyczny przy wykorzystaniu siłownika membranowego zasilanego sprężonym powietrzem lub wodą pod ciśnieniem (zamknięcie automatyczne sprężyną),
- muszą również zapewnić dużą szybkość przesterowania zaworu.

8.2 Oszczędności uzyskiwane w wyniku zastosowania szybkodziałających zaworów odmulających i automatyzacji procesu odmulania

Na kotłach parowych, gdzie stosowane są tradycyjne zawory odcinające proste, skośne lub zasuwki mamy do czynienia z dwoma ograniczeniami: brak efektu zerwania osadów ze względu na powolny proces otwierania oraz duża strata wody kotłowej podczas procesu otwarcia i zamknięcia zaworu.

Na rysunku 12 pokazano uzyskane doświadczalnie ilości traconej niepotrzebnie wody kotłowej dla zapewnienia odprowadzenia pewnej określonej ilości szlamu i mułu z dna kotła, przy wykorzystaniu różnych zaworów odmulających. Wartości podane na rysunku 12 wyraźnie pokazują jak duże oszczędności w traconej wodzie kotłowej można uzyskać wprowadzając szybko działające zawory odmulające w miejsce tradycyjnych.

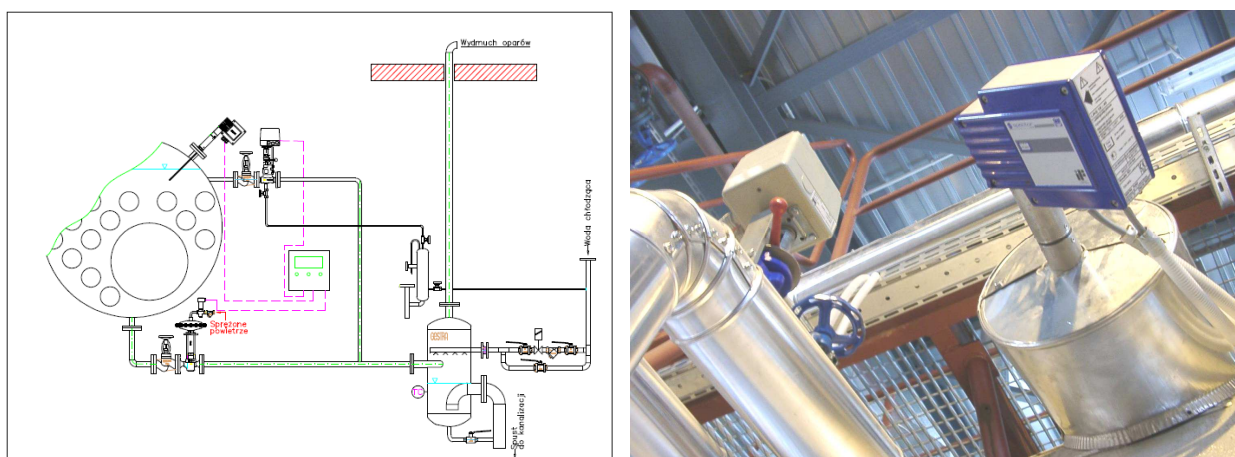
Warto również podkreślić, iż w wyniku automatyzacji odmulania uzyskamy możliwość optymalizacji tego procesu pod kątem bezpieczeństwa i ekonomii pracy instalacji kotłowej oraz zabezpieczamy się przed błędami lub niedopatrzzeniami obsługi.

9. Zastosowanie systemów automatycznej regulacji odsalania i odmulania na kotłach parowych nowo budowanych i modernizowanych – przykłady rozwiązań

Wieloletnie doświadczenie w zakresie automatycznych systemów pomiaru przewodności oraz odsalania i odmulania umożliwiły opracowanie i wdrożenie odpowiednich rozwiązań zarówno dla kotłów parowych płomienicowo-płomieniówkowych, jak i dla kotłów parowych wodnorurowych. Zastosowanie najkorzystniejszego rozwiązania spośród różnych systemów odsalania i odmulania, po procesie analizy, powinno być dostosowane do indywidualnych warunków modernizowanego lub nowego kotła oraz instalacji przykotlewych. Zaleca się tak dostosować system, aby uzyskiwane były jak najlepsze parametry robocze i montażowe przy możliwie najkorzystniejszej cenie. Zależy to od ciśnienia panującego w kotle, wymaganego zakresu pomiarowego, etapu realizacji lub projektowania kotła, tego czy kocioł jest nowo projektowany czy też już eksploatowany, a także od możliwości finansowych użytkownika. Poniżej zaprezentowano kilka przykładów zabudowy różnych systemów pomiaru przewodności oraz odsalania i odmulania.

9.1 Zabudowa systemu automatycznego odsalania na nowym kotle parowym <60bar

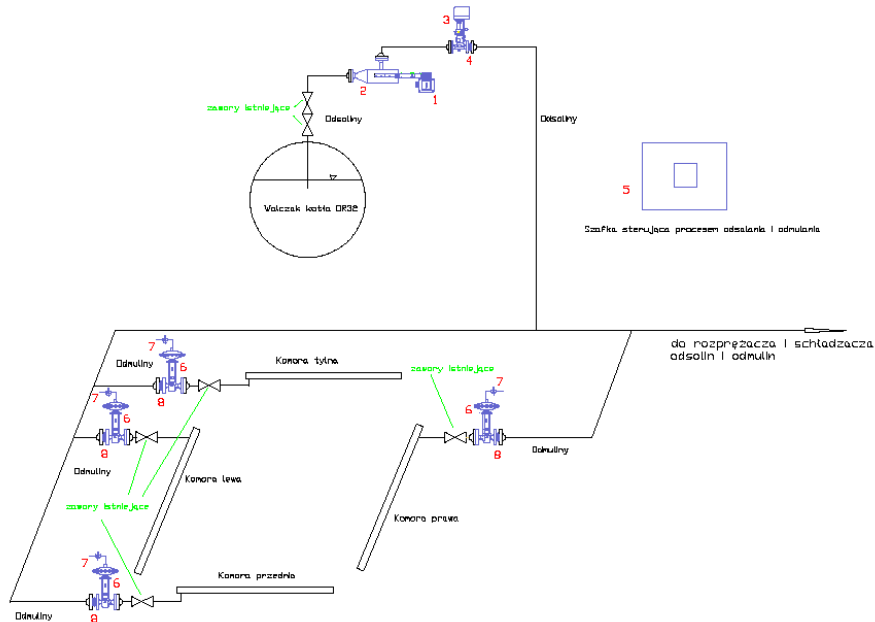
Na nowym kotle pracującym z ciśnieniem roboczym do 60 bar najkorzystniejszym rozwiązaniem, jest wariant w którym czujnik pomiaru przewodności jest umieszczony wewnątrz płaszcza lub walczaka kotła – rysunek 13. Dzięki temu pomiar zawsze odnosi się do rzeczywistych warunków panujących wewnątrz kotła. Dla umożliwienia takiego montażu już na etapie projektowania kotła konieczne jest wykonanie odpowiedniego króćca montażowego elektrody na płaszczu lub walczaku kotła.



Rys. 13 Zalecany sposób instalacji elektrody z końcówką pomiarową wewnątrz walczaka kotła (kotły nowe <60bar)

9.2 Zabudowa systemu automatycznego odsalania na kotle modernizowanym <60 bar

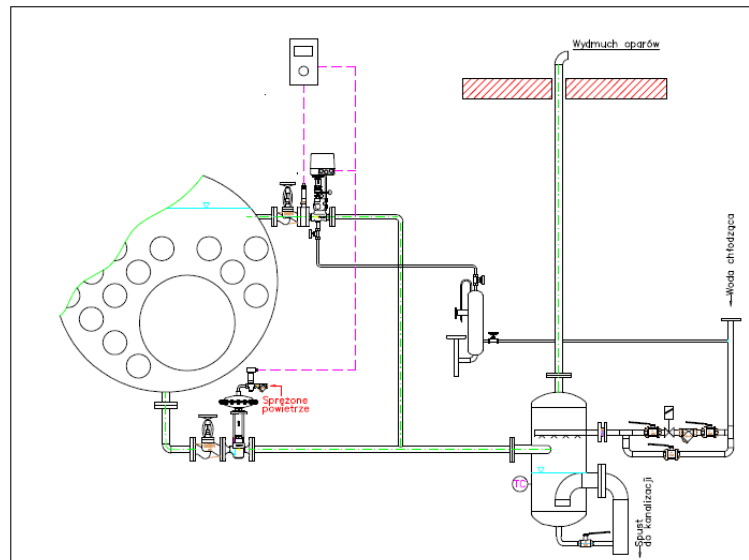
W przypadku kotłów już eksploatowanych i modernizowanych, w których nie przewidziano króćca dla bezpośredniego montażu elektrody w kotle, najkorzystniejsze jest wykonanie zewnętrznego naczynia pomiarowego na rurociągu odsolin i umieszczenie elektrody pomiarowej w tym naczyniu – schemat takiej modernizacji systemu odsalania i odmulania zaproponowany dla kotła wodnorurkowego pokazano na rysunkach 14 i 15, a dla kotła płomienicowo-płomieniówkowego na rysunku 16. Ten sposób montażu jest również dopuszczalny dla kotłów nowych, ale należy pamiętać, że dla ciągłości i poprawności pomiaru przewodności zawór odsalający w tym systemie nie może się zamknąć całkowicie w czasie pracy kotła, co zmniejsza nieco walory ekonomiczne eksploatacji.



Rys. 14 Zakres modernizacji i automatyzacji systemu odsalania i odmulania na kotle wodnorurkowym



Rys. 15 Modernizacja i automatyzacja systemu odsalania i odmulania na kotle OR 16.
 a/ pomiar przewodności, zawór odsalający i zawór odmulający komory przedniej
 b/ zawory odmulające komór tylnej i bocznej lewej



Rys. 16 Zakres modernizacji i automatyzacji systemu odsalania i odmulania na kotle płomienicowo-płomieniówkowym

9.3 Zabudowa systemu automatycznego odsalania na kotle modernizowanym lub nowym >60 bar

Dla kotłów pracujących przy ciśnieniach powyżej 60 bar na dzień dzisiejszy nie stosuje się elektrod pomiaru przewodności, które umożliwiałyby pomiar bezpośrednio wewnątrz walczaka lub na rurociągu odsolin. W takich przypadkach stosowane są systemy pomiaru przewodności wody kotłowej zainstalowane za chłodnicą próbki wody kotłowej, gdzie parametry ciśnienia i temperatury zostają silnie zredukowane – Rys. 17.



Rys. 17 Automatyczny pomiar przewodności wody kotłowej za chłodnicą próbki na kotłach >60bar

Dla takich parametrów konieczne jest zastosowanie specjalnych wykonać zaworów odsalających i odmulających.

10. Podsumowanie

Automatyzacja procesów odsalania i odmulania kotłów parowych wodnorurowych ma bardzo duży wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji jednostek kotłowych, przy równoczesnym korzystnym aspekcie ekonomicznym, wynikającym z oszczędności w ilości traconej wody kotłowej.

Problem najkorzystniejszego rozwiązania systemu automatycznego odsalania i odmulania najlepiej jest analizować już na etapie projektowania i budowy nowego kotła. Użytkownicy kotłów eksploatowanych (nawet stosunkowo starych), a nie wyposażonych w systemy automatycznego odsalania i odmulania, mają możliwość realizacji modernizacji tych systemów bez ingerencji w konstrukcję kotła.

Osoby zainteresowane tematyką automatyzacji procesów odsalania i odmulania kotłów parowych proszę o kontakt.

Wiele innych szczegółowych opracowań w temacie systemy pary i kondensatu znajdzie czytelnik na mojej stronie internetowej: www.szalucki.pl
Serdecznie zapraszam.

Krzysztof Szalucki

tel. 667994413

e-mail: krzysztof@szalucki.pl

www.szalucki.pl